Archive of SID

فصلنامه آموزش مهندسی ایران، سال بیست و یکم، شماره ۸۲، تابستان ۱۳۹۸، صص. ۱۳-۱

# افق‌های آینده در مهندسی شیمی؛ مهندسی محصولات شیمیایی

رهبر رحیمی[۱]

(دریافت مقاله: ۱۳۹۷/۲/۲۸)، (پذیرش مقاله: ۱۳۹۸/۴/۲۵)

DOI: 10.22047/ijee.2019.176619.1628

**چکیده:** استفاده از مفهوم طراحی محصول شیمیایی و عبارت مهندسی محصولات شیمیایی در مهندسی شیمی در ۲۰ سال اخیر رایج شده است. این مفهوم ابتدا در کشور آمریکا و سپس، در اروپا به آن توجه و در معدودی از دانشگاه‌های جهان طراحی محصولات شیمیایی به‌عنوان درسی در سطح کارشناسی ارائه شد و تعداد کثیری از دانشگاه‌های جهان آن را به‌صورت پروژه تخصصی - پژوهشی در سطح کارشناسی ارشد ارائه دادند که بدین دلیل تعدد کتب درسی در این زمینه کم است. در طراحی محصولات شیمیایی تلفیق بازار، مهندسی شیمی و علوم جدید ( فناوری ذرات، بیو فناوری و نانو) مورد نیاز است. نظام یکپارچه برای مهندسی محصولات شیمیایی به مفهوم تبدیل داده به اطلاعات و با توجه به تحقیق و آموزش و تجربه‌های کسب شده تا کنون و سپس، تبدیل آن به دانش در حال شکل‌گیری است. به دلیل تنوع زیاد در طراحی محصول در مهندسی محصولات شیمیایی و میزان کم تولید، بیشتر فرایندهای تولیدی ناپیوسته هستند. سودآوری محصولاتی که نوبر[۲] هستند، به دلیل نبود تولید کننده رقیب بسیار زیاد است و ریسک نبود تقاضای درازمدت برای محصول تولیدی را جبران می‌کند. به آموزش طراحی محصولات شیمیایی و فرایندهای ناپیوسته که عموماً نا پایا[۳] هستند، در گروه‌های مهندسی شیمی دانشگاه‌های ایران توجه کافی نشده و لازم است که در برنامه‌های آموزشی مهندسی شیمی به آن توجه و از الگوهای موجود بهره گرفته شود.

**واژگان کلیدی:** مهندس شیمی، مهندسی فرایند، مهندسی محصول، طراحی محصول، کالای نوبر، کالای عام، سرفصل درس

۱- استاد دانشکده مهندسی شیمی دانشگاه سیستان و بلوچستان، سیستان و بلوچستان، ایران. rahimi@hamoon.usb.ac.ir

۲- نوبر به مفهوم جدید، نو و مورد تقاضای شدید به جای محصولات خاص، Specialty Chemicals، به‌کار رفته است.

3- Un-steady State

www.SID.ir

Archive of SID



### ۱. مقدمه

امروزه، فراورده‌های صنایع شیمیایی تنوع گسترده‌ای یافته و زندگی مدرن بدون استفاده از آنها ناممکن است. ماده اولیه بسیاری از صنایع نفت خام است. سوخت‌های فسیلی یکی از این فراورده‌ها هستند. ارزش حرارتی سوخت‌های فسیلی بسیار بالا و به همان نسبت انتشار گاز دی اکسید کربن در آلودگی محیط بسیار مؤثر است. آلایندگی گاز دی اسید کربن ناشی از احتراق سوخت‌های فسیلی موجب گرمایش زمین در اثر پدیده گلخانه‌ای می‌شود و پیامد این گرمایش بالا رفتن درجه حرارت و ذوب یخ‌ها در قطب‌ها و افزایش سطح آب و کاهش شوری آب اقیانوس‌هاستکه خشکسالی، سیلاب و طوفان‌های سهمگین ناشی از این پدیده مخرب قابل مشاهده است. در این میان انتقادی بر مهندسان شیمی وارد است که برای رفع این پدیده چاره‌اندیشی مؤثری نداشته‌اند، هر چند که در این خصوص مهندسی سبز مطرح شده است (Soltanieh, 2018; Vasheghani, 2018).

در سال ۱۹۶۶ (Danckwerts, 1966) اعلام شد که نمی‌توان مهندسی شیمی را علمی ثابت دانست، بلکه با افزایش دانش بشری متحول می‌شود و به حق چنین نیز شده است. گسترش دانش‌های زیست‌شناسی و نانو و گسترش فناوری‌های زیستی[1] و نانو به تولید داروها و مواد جدیدی منجر شده است. توانایی در ایجاد مولکول‌هایی با ساختاری از قبل تعیین شده به تولید موادی جدیدی منجر شده است که می‌توانند منشأ نفت خام نداشته باشند و این توانایی افق جدیدی را در مهندسی شیمی گشوده است؛ لذا، مهندس شیمی در این افق با قدرت ابتکار و خلاقیت می‌تواند به جایگاه مناسبی دست یابد. این مقوله نشان داده است که مهندسی شیمی در کشور ایران با گسترش دانش و ایجاد نیازهای جدید، آموزش و حتی پژوهش نیازمند تحول است و لازم است که در جهت مهندسی محصول گسترش یابد. باید در نظر داشته باشیم که ابتکار در فرایندهای نفتی درکشورهای صنعتی، که ماده خام آن در ایران به وفور یافت می‌شود، به حداقل رسیده و اقتصاد بدون نفت افقی روشن در آینده کشور است. مهندسی یا طراحی محصول نفی مهندسی شیمی سنتی نیست، بلکه عاملی بر رشد مهندسی شیمی است. همان‌گونه که پدیده‌های انتقال، عملیات واحدها را نفی نکرده و به شکوفایی بیشتر علم مهندسی شیمی منجر منجر شده است.

### ۲. توانایی مهندس شیمی

در آموزش مهندسی شیمی تمرکز بر طراحی فرایند است. بدین ترتیب، امروزه با داشتن ماده اولیه مناسب، فرایند تولید محصولات شناخته شده با در نظر گرفتن سود و بهره‌وری از انرژی (انتگراسیون فرایند) و توجه به مسائل زیست‌محیطی (مهندسی سبز) طراحی می‌شود. در طراحی فرایند هدف ارائه نمودار جریان[2]، و

1- Bio-Ttechnology 2- Process Flow Diagram, PFD

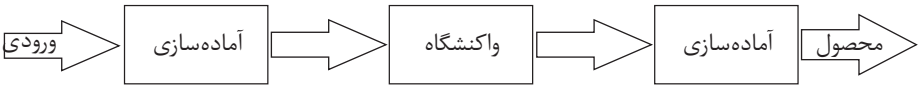
www.SID.ir

Archive of SID



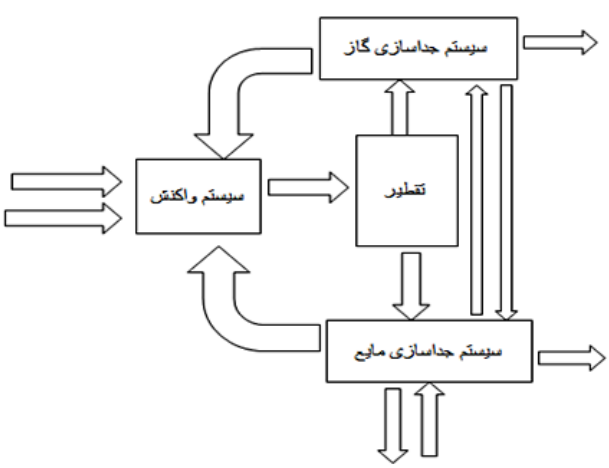
نمودار لوله‌کشی و ابزار دقیق[1] و چینش دستگاه‌ها[2] با دیدگاه بهینه‌سازی اقتصادی فرایند است.

تجربه به‌دست آمده از طراحی فرایندهای صنایع شیمیایی نشان داده است که فرایندها به طور گسترده از سه بخش اساسی تشکیل شده‌اند (شکل ۱) که عبارت‌اند از: ۱. واکنشگاه که در آن تبدیلات شیمیایی صورت می‌گیرد؛ ۲. بخش آماده‌سازی مواد اولیه برای واکنشگاه؛ ۳. بخش آماده سازی خروجی از واکنشگاه برای تولید محصول مد نظر. عمده تبدیلات در بخش‌های آماده‌سازی از نوع فیزیکی است و ماهیت اجزای شیمیایی را تغییر نمی‌دهد و عموماً شامل انواع جداسازی می‌شوند. البته، شرایط فرایندی از قبیل فشار، دما و شدت جریان و نوع فاز در تمام فرایند را طراح تعیین می‌کند؛ لذا، بیش از دوسوم یک فرایند را آماده‌سازی‌ها تشکل می‌دهد. دیدگاه عملیات واحدی مهندسی شیمی که به انتخاب دستگاه‌ها و طراحی آنها منجر می‌شود، بر این مبنا استوار است.




**شکل ۱: سه بخش یک فرایند که ۲ بخش آن آماده‌سازی‌هایی از نوع فیزیکی و بیشتر از نوع جداسازی هستند.**

فرایندها بسیار پیچیده هستند و در طراحی مفهومی فرایند نمودارهایی همانند شکل ۲ اساس کار قرار می‌گیرند (Douglas, 1988). با توجه به این شکل، ابتدا خروجی از واکنشگاه در یک تقطیر ناگهانی به دو فاز تبدیل می‌شود و ابتدا سیستم فاز گاز و سپس، سیستم فاز مایع طراحی و جریان‌های برگشتی و شرایط فرایندی مشخص و بهینه می‌شوند. با در نظر گرفتن تنوع محصولات و شرایط خوراک استفاده از نرم‌افزارهای شبیه‌ساز بسیار متداول شده و گسترش پایگاه‌های داده‌های ترمودینامیکی استفاده از تجربه و سعی و خطا را در طراحی کمتر ساخته است. مهندس شیمی بر تمام قسمت‌های فرایند اشراف دارد و همواره درپی تحقق فرایندی اقتصادی است؛ به عبارتی، او ذهنیتی فرایندی دارد.




**شکل ۲: طرحواره ای از سیستم جداسازی خروجی از سیستم واکنشی (Douglas, J. M., 1988)**

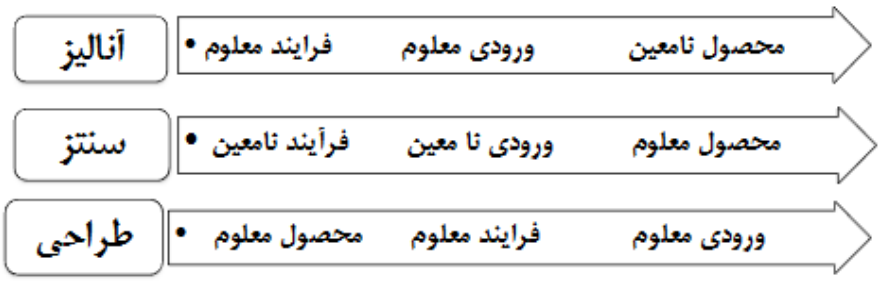
1- Process Piping and Instrument Diagram, P&ID
2- Layout

www.SID.ir

Archive of SID



دو فعالیت دیگری که در طراحی به آنها توجه می‌شود، عبارت‌اند از سنتز و آنالیز یا تحلیل[1] فرایند. سنتز و تحلیل فرایند به‌صورت نموداری در شکل ۳ نشان داده شده است (Doherty & Malone, 2001). در تحلیل فرایند، محصول تولیدی از فرایندی معلوم یا معین و با ورودی یا خوراک معلوم کیفیت مناسب را ندارد و به عبارتی، محصول نامعین است. در تحلیل فرایند طراح برای تولید معین، توجه خود را به فرایند و ماده اولیه معطوف می‌کند. در حالی که در سنتز طراح برای تولید محصولی با کیفیت معین در پی تعیین فرایند و خوراک مناسب است. در طراحی، محصول، فرایند و خوراک ورودی معلوم است و طراح به محاسبات تعیین ظرفیت دستگاه‌ها و بهینه‌سازی و کنترل آن می‌پردازد.




**شکل ۳: نمایش سه مرحله در طراحی فرایند یا ذهنیت فرایندی مهندسی شیمی**

تمام فعالیت‌های مهندسی شیمی در سال‌های قبل از ۱۹۲۰ میلادی بر مبنای آزمایش، سعی و خطا و هماهنگی میان شیمیدان‌ها و مهندسان مکانیک بوده است، اما مشابهات ذکر شده در فرایندها به الگو یا انگاره[2] عملیات واحدی منجر و در امتداد زمان با شناخت محدودیت‌های الگوی عملیات واحدی، الگوی پدیده انتقال معرفی شد و با انتشار چاپ اول کتاب پدیده‌های انتقال، نوشته بِرد[3]، استوارت[4] و لایت فوت[5] در سال ۱۹۶۰ و مرجعیت آن (چاپ دوم (Bird, Stewart & Lightfoot, 2007)، مهندسی شیمی تثبیت شد و تداوم یافت. با تثبیت ذهنیت فرایندی مهندسی شیمی توسعه کارخانه‌های نفت، گاز و پتروشیمی سرعت گرفت و تمرکز بر آموزش در رشته مهندسی شیمی تولیدات در کارخانه‌های صنایع نفتی جنبه نوبری خود را از دست دادند و به کالای عام تبدیل شدند و کارایی مهندسان شیمی به‌طور نسبی به سطح اپراتوری کاهش یافت. از طرفی، با رشد دانش ترمودینامیک تعادلی و دسترسی به اطلاعات خواص مواد غیر هیدروکربوری مهندس شیمی توان طراحی را در صنایع تولیدی از جمله صنایع غذایی و داروسازی به‌دست آورد. اکنون صنایع فرایندی[6] به کلیه صنایعی اطلاق می‌شود که با اصول مهندسی شیمی طراحی می‌شوند.

1- Analysis
2- Paradigm
3- Bird
4- Stewart
5- Lightfoot
6- Process Industries

www.SID.ir

Archive of SID



### ۳. محصولات

محصولات صنایع شیمیایی باید قابلیت عرضه به بازار را داشته باشند. سود کارخانه‌ها از فروش محصولات پس از کسر هزینه‌ها به‌دست می‌آید. این نوع محصولات که عموماً تک فرمول شیمیایی هستند، به مقدار زیادی در فرایندهای پیوسته تولید می‌شوند، قابل خرید و فروش هستند و در بازار سرمایه حضور پیدا کرده‌اند، به نام کالاهای شیمیایی[1] شناخته می‌شوند، مانند اسیدسولفوریک، اوره یا آسپرین. فراورده‌های شیمیایی اگر به‌صورت کالایی عام درآمده باشند، روش تولید آنها یا فرایند تحت لیسانس آنها در کارخانه‌ها تفاوت زیادی ندارند و چون در بازار رقابتی فروش هستند، نمی‌توانند قیمت‌های بالایی نیز داشته باشند؛ درنتیجه، افزایش سود حاصل از فروش این محصولات فقط از میسر کاهش هزینه‌ها به‌دست می‌آید که شامل هزینه‌های جاری از قبیل هزینه‌های ماده اولیه و مصرف انرژی است.. نوآوری‌هایی از قبیل انتگراسیون حرارت یا فناوری پینچ[2] یا شدت‌بخشی[3] به دستگاه‌هایی مثل برج‌های تقطیر دیوار میانی[4] یا تقطیر واکنشی[5] موجب کاهش هزینه تولید می‌شوند. کاتالیزور مناسب‌تر و کنترل بهتر فرایند از طریق روش‌های دیگری است که باید به آنها توجه شود. در حال حاضر، فراورده‌های پرمصرفی از قبیل نایلون، تفلون و پلی‌اتیلن از جمله فرآورده‌های هستند که عنوان کالا گرفته‌اند. از طرف دیگر، یک کالا در زنجیره پتروشیمی‌ها می‌تواند خوراک زنجیره کالایی مرحله بعد باشد. میزان تولید کالاها زیاد است و سود اندک با فروش بیشتر جبران می‌شود.

کالای مبتکرانه مورد تقاضا در ابتدای تولید و معرفی به بازار دیگر جنبه تولیدی عام را ندارند و به آن محصول نوبرگفته می‌شود. چون تولید این محصولات کم است، تولید آنها به‌صورت ناپیوسته[7] یا بسته‌ای است. تقاضا برای این محصولات به مشتری یا بازار بستگی دارد و چون این محصولات نوبر هستند، ممکن است که مشتری کمی داشته باشند که درنتیجه، تولید آنها با مخاطره[8] حذف از بازار رقابت روبه‌رو و سرمایه‌گذار دچار زیان می‌شود. از سوی دیگر، محصولات نوبر به دلیل نداشتن رقیب در تولید چنانچه مورد تقاضا واقع شوند، تولید کننده قادر به تعیین ارزش فروش محصولات و درنتیجه، سوددهی مناسب تولید خواهد بود. این سود زیاد ارزش خطرپذیری را دارد. کالا اغلب به‌صورت کسب-کسب [9]داد و ستد می‌شود، اما محصول نوبر اغلب به‌صورت کسب - مشتری[10]تولید می‌شود و ارزش فروش آن متناسب با نیاز مشتری می‌تواند بسیار بیشتر از هزینه تولید باشد. بدین دلیل در گسترش آموزش دانش مهندسی شیمی لازم است که از بعد فرایندی به فرایندهای ناپیوسته و از بعد شناخت بازار به چگونگی تقاضا برای محصول نیز توجه شود.

در شکل ۴ به‌صورت کیفی تفاوت فروش و سود محصولاتی از نوع کالای کسب -کسب و محصولات

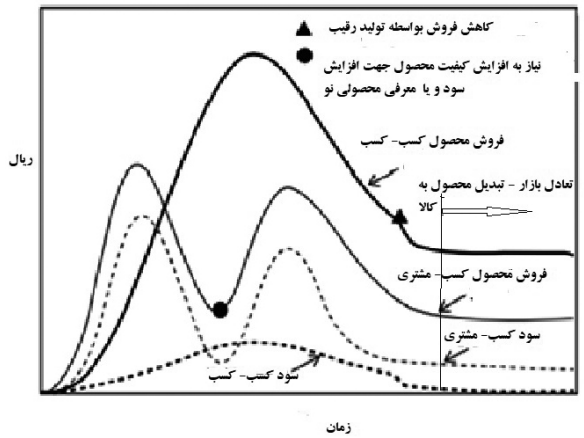
1- Commodity Chemicals
2- Pinch Technology
3- Intensification
4- Divided Wall Column, DWC
5- Reactive Distillation
6- Specialty Product
7- Batch
8- Risk
9- Business to Business, B to B
10- Business to Consumer, B to C

www.SID.ir

Archive of SID



کسب - مشتری برحسب زمان نشان داده شده است. دیده می‌شود که در ابتدای زمان تولید و عرضه به بازار که فرآورده‌ها جنبه نوبری دارند، قیمت با افزایش تقاضا افزایش می‌یابد. رشد فروش کالای کسب - کسب زیاد است، اما با توجه به هزینه تولید نسبتاً بالا سود به‌دست آمده کم است. در طی زمان که محصول از حالت نوبری بیرون می‌آیند، فروش و حتی سود کاهش می‌یابد. کاهش فروش معمولاً به دلیل جایگزینی محصولی جدید یا به سبب ساخت کارخانه‌ای جدید و عرضه بیشتر فراورده به بازار است. به هر حال، سود اولیه پس از مدتی به تعادل می‌رسد، بازار اشباع و درآمد نیز ثابت می‌شود. اما برای کالای نوبر، که از نوع محصول کسب - مشتری است، تولید و فروش نوسانی و بسته به بازار متغیر است و معمولاً بازه فروش و سود محصولات کسب - مشتری نوسان زیادی دارد.




**شکل ۴: نمایش کیفی فروش و سود محصول کالا و نوبر (Seader, Henley & Roper, 1998)**

### ۴. محدودیت‌ها

دنکورتز (Danckwerts, 1966) بیان کرده است که مهندسی شیمی باید در طول زمان با رشد دانش و فناوری تغییر یابد و لذا، محدودیت‌هایی که در برگیرنده مهندسی شیمی سنتی است، لازم است برطرف شوند. مهندسی شیمی برای بقا به خلاقیت و ابتکار نیاز دارد. از محدودیت‌های مهندسی شیمی می‌توان به موارد زیر اشاره کرد:

در آموزش مهندسی شیمی به سازوکار[1] بازار در جهان کمتر توجه شده است و حتی در کشور ایران مباحث بهره و سوددهی، که در درس اقتصاد و طرح مهندسی مطرح می‌شوند، به مسائل بازار نمی‌پردازد (Kheradmandinia & Sotudeh Gharebagh, 2018). ضمن اینکه نیاز به مهندسی شیمی به دلیل کاهش یا نبود سرمایه‌گذاری در گسترش صنایع فرایندی تولید کننده محصول از نوع کالا کاهش

1- Mechanism

www.SID.ir

Archive of SID



یافته است. می‌توان به محدودیت‌های نبود شناخت محصولات میکروساختار و چندترکیبی و مفهوم کالا از دیدگاه مشتری نیز توجه کرد. مهم‌تر از همه اینکه رشد دانش‌های زیست‌شناسی و نانو در آموزش مهندسی شیمی نهادینه نشده است و می‌توان گفت که مهندسِ شیمی شناخت کاملی از دانش‌های جدید ندارد. با توجه به اینکه صنایع فرایندی به نفت، گاز و پتروشیمی محدود نمی‌شوندو دامنه وسیعی از صنایعی را شامل می‌شوند که برای تولید محصول از مفاهیم مهندسی شیمی بهره می‌برند، باید ذکر کرد که مهم‌ترین زمینه ابتکار و خلاقیت در مهندسی شیمی تولید محصولات نوبر است. اما نقش مهندس شیمی در تولید محصولات ترکیبی از قبیل داروهای جدید، کاتالیست‌های جدید، پیل‌های سوختی، لوسیون‌های بهداشتی، عطرهای جدید و هزاران محصول دیگر بسیار کمرنگ است.

### ۵. راهبرد طراحی محصول شیمیایی

شناخت نیاز اولین مرحله تولید محصول نوبر است. برای مثال، برای تصفیه آب می‌توان از نوعی صدف به اسم زبراموسل[1] استفاده کرد (Costa, Elliott, Saraiva, Aldridge & Moggridge, 2008). این صدف قادر است در روز مقدار زیادی آب را تصفیه کند، اما مواد زاید در بدن او جمع و پس از مرگ منبع آلودگی می‌شود. تجمع زبراموسل توده‌ای است و با چسبیدن به جداره سیستم توزیع آب موجب انسداد لوله‌ها می‌شود که درنهایت، به محصولی برای حذف یا از بین بردن آن نیاز است. ساده‌ترین روش سنتی آن است که با سعی و خطا به محصول مورد نیاز که اهداف مد نظر را تأمین کند، دست یافت. اما مهندسی محصول شیمیایی نمی‌تواند بر سعی و خطا متکی باشد، بلکه نیازمند فرایندی متکی بر علم است. راهبرد شناخته شده‌ای را که به آن توجه شده است، اولین مرتبه کسلر و موگریج (Cussler & Moggridge, 2001) بیان کرده‌اند. در این مدلسازی به چهار مرحله ضروری زیر توجه شده است:

- تقاضا یا نیاز[2]
- ایده یا ابتکار[3]
- انتخاب[4]
- تولید[4]

هر یک از این چهار مرحله در کتاب کسلر و موگریج (Cussler & Moggridge, 2011) به تفصیل آمده است. شرح و بیان نیاز از مفاهیمی است که می‌تواند در حیطه مهندسی شیمی قرار نگیرد، اما چگونگی عملکرد بازار نیازمند آموزش به مهندس شیمی است و در برآورد نیاز است که مهندس شیمی فرصت ایده‌پردازی و ابتکار را پیدا می‌کند. ابتکارات و خلاقیت‌ها نیازمند انتخاب هستند. مجدداً مهندس شیمی برای انتخاب بهترین گزینه نقشی راهبردی دارد. اکنون مهندس شیمی در جایگاه طراحی فرایند

1- Zebra Mussel 2- Needs 3- Idea
4- Selection

www.SID.ir

Archive of SID



قرار می‌گیرد که به آن اشراف دارد و مهندسِ شیمی قادر به طراحی واحد تولیدی محصول است. گفتنی است که ضعف آموزش مهندسی شیمی در مراحل ۱ تا ۳ ذکر شده است. مراحل ۱ تا ۳ بینش محصولی به مهندسی شیمی می‌دهد و مرحله ۴ بینشی فرایندی است و در بهینه‌سازی فقط به فرایند توجه می‌شود، اما در بینش جدید که چهار مرحله یادشده را شامل می‌شود، لازم است تابع هدف اقتصادی، بهینه‌ترین محصول را که شامل قیمت، تقاضا و کیفیت است، در نظر بگیرد.

### ۶. پیشینه

برای شناخت علمی طراحی محصول و ایجاد ساختاری که بر سعی و خطا[1] متکی نباشد، فرایندهای صنایع شیمیایی از دیدگاه محصول تولیدی بررسی شده‌اند. هدف این بررسی‌ها ارائه ساختار مهندسی محصول بوده است، به‌طوری که در طی ۱۰ سال (از ۱۹۹۵ تا ۲۰۰۵) در زمینه طراحی محصول و مهندسی محصول تعداد مقالات منتشر شده بیش از ۳۰۰ مقاله است که بیشترین آنها در طی سال‌های ۲۰۰۲ تا ۲۰۰۵ چاپ شده است. تعدادی از دانشگاه‌ها و بیش از ۲۵ دانشکده در جهان در سطح کارشناسی و بیش از ۱۰۰ دانشکده در سطح تحصیلات تکمیلی به طراحی محصولات شیمیایی توجه داشته‌اند (Shabani, 2013). جست‌وجو در پایگاه داده‌های ساینس دایرکت[2] در عنوان مقالات پژوهشی با واژه "Chemical Product design" در طی سال‌های ۲۰۰۵ تا ۲۰۲۰، تعداد ۳۳ مقاله را در دسترس قرار می‌دهد. نکته در این است که مهندسی محصول به‌عنوان الگویی نو در مهندسی شیمی به دلیل تنوع محصولات تولیدی تا کنون به استحکام لازم دست نیافته است و تحقیق در این زمینه همچنان ادامه دارد. (Fung & Ng, 2018) نویسندگان مقالات بر این اعتقادند که همچنان که فیزیک نیوتنی مبنای مهندسی در قرن حاضر بوده و موفقیت‌های زیادی کسب کرده است، با محدودیت‌هایی نیز مواجه شده که به‌وسیله فیزیک نسبیت مرتفع شده و درنتیجه، در ضمن گسترش افق‌های فیزیک نوین، فیزیک نیوتنی کاربرد خود را حفظ کرده است که چنین دیدگاهی برای مهندسی محصول نیز صادق است؛ به‌عبارتی، مهندسی محصول در بالادست مهندسی فرایند قرار گرفته است و آن را نفی نمی‌کند.

در طی سال‌های ۱۹۲۰ تا ۱۹۳۰ مهندسی شیمی با ظهور عملیات واحد بنیان نهاده شد، اما محدودیت آن در طی سال‌های ۱۹۲۰ تا ۱۹۶۰ با گسترش دانش پدیده‌های انتقال و به‌ویژه چاپ کتاب مشهور پدیده‌های انتقال بِرد و همکاران[3] در سال ۱۹۶۰ مرتفع شده و مهندسی شیمی به‌صورت کنونی گسترش یافته است. از حدود سال ۲۰۰۰ که محدودیت‌های مهندسی شیمی بیشتر شناخته شد، مهندسی محصول شروع به نمو کرد و در حال رشد و تبدیل شدن به سومین انگاره[4] مهندسی شیمی است. انگاره اول عملیات واحدها و انگاره دوم پدیده‌های انتقال هستند. جالب است که گذر از

1- Trial and Error
2- Sciencedirect
3- Bird et al.
4- Paradigm

www.SID.ir

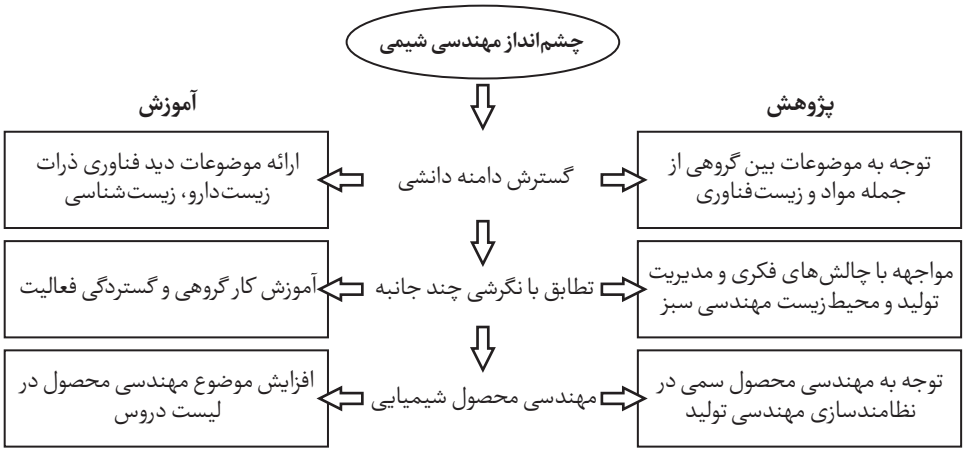
Archive of SID



انگاره عملیات واحدی مهندسی شیمی در سال ۱۹۲۰ به انگاره پدیده‌های انتقالی در سال ۱۹۶۰، حدود ۴۰ سال زمان برد و به همین ترتیب، پس از معرفی انگاره پدیده‌های انتقال در سال ۱۹۶۰، که اکنون محدودیت‌های آن معلوم شده است، حدود ۴۰ سال طول کشید تا در سال ۲۰۰۰ مهندسی محصول معرفی شود. هم اینک که سال ۲۰۲۰ نزدیک است، الگوی مهندسی محصول در میانه راه قرار گرفته است و کماکان به تکامل خود ادامه می‌دهد.

### ۷. ۷. چشم‌انداز[1] مهندسی شیمی

مناسب است که مهندسی شیمی از دو منظر پژوهش و آموزش بررسی شود. لازم است با گسترش دامنه دانش بشری به مسئله تطابق با نگرشی چندجانبه، که درنهایت، به مهندسی محصول خواهد انجامید، توجه شود. این ساختار در شکل ۵ نشان داده شده است. موضوع مهم علاوه بر پژوهش در زمینه نظام‌مندسازی مهندسی محصول، چگونگی ورود این مفهوم در فهرست دروس دانشگاهی است. توجه به موضوعات بین گروهی و مواجهه با چالش‌های محیط زیستی و مهندسی سبز در سطح پژوهش تحصیلات تکمیلی ضرورت دارد.




**شکل ۵: ساختارنظام مند سازی مهندسی محصول در چشم انداز مهندسی شیمی (Costa, Moggridge & Saraiva, 2006)**

### ۸. آموزش مهندسی محصول

محصولات مشتری‌محور غالباً از یک جزء تشکیل نمی‌شوند، بلکه مخلوطی ترکیبی با فرمولاسیون معین و مورد پسند مشتری هستند. این فرمولاسیون تا کنون به‌صورت سعی و خطا تعیین می‌شده و دانش آن در اختیار شرکت تولید کننده بوده است. برای مثال، شرکت‌های تولید کننده بستنی با آنکه فرایند

1- Scope

www.SID.ir

Archive of SID



تولید بستنی در آنها یکسان است، اما فرمولاسیون نهایی آنها متفاوت است و برندهای خاص خود را دارند. درس طراحی محصول در دوره کارشناسی مهندسی شیمی در دانشگاه پنسیلوانیا با استفاده از کتاب کسلر و موگریج[1] ارائه شده است، ضمن آنکه در این دانشگاه درس جداسازی واحدهای بیو فناوری نیز معرفی شده است و از کتاب درسی اصول فرایندهای جداسازی[2] (Seader et al., 1998) استفاده می‌شود.

سیدر[3] و همکارانش در سال ۱۹۹۹ کتابی درسی با عنوان اصول طراحی محصول و فرایند[4] را در دانشگاه پنسلوانیا ارائه دادند که مورد اقبال قرار گرفت و چاپ چهارم آن در سال ۲۰۱۶ منتشر شد. در این دانشگاه به دلیل کثرت دروس، درس معادل طراحی فرایند و اقتصاد از دو قسمت تشکیل می‌شود که دانشجو به‌صورت اختیاری یا طراحی فرایند یا طراحی محصول را انتخاب می‌کند. پیش‌نیاز این درس دروس کارآموزی و پروژه تخصصی است و این دروس در راستای انتخاب درس طراحی فرایند یا طراحی محصول هستند. البته، از سال ۱۳۹۷ در دانشگاه امیرکبیر درس اختیاری سه واحدی طراحی محصول در دوره کارشناسی مهندسی شیمی گنجانده شده است[5]. در جدول ۱ سرفصل درس طراحی محصول و پیش‌نیاز آن آمده است. نکته مهم در دانشگاه پنسلوانیا روش تدریس آن است، به دلیل آنکه پروژه‌ها را صنعت تعریف می‌کند و این پروژه‌ها را دانشجویان با حداقل هزینه اجرا می‌کنند و درنهایت، انجام دادن پروژه‌ها مشکلات صنعت را مرتفع می‌سازد. مشاور صنعتی و استاد با هم ارزشیابی درس را انجام می‌دهند.

سرفصل درس طراحی محصول دانشگاه پنسلوانیا در جدول ۲ که اقتباس از کتاب اصول طراحی محصول و فرایند است، نشان داده شده است. در بسیاری از کشورها آموزش طراحی محصول معمول شده است، از جمله هندوستان، آموزش مهندسی محصول در انستیتو صنعتی هندی بمبئی[6] در سطح تحصیلات تکمیلی و در مرکز مهندسی ولور هندوستان[7] در سطح کارشناسی ارائه می‌شود. دستاوردهای پژوهشی دانشگاه‌ها در کنفرانس‌های مهندسی شیمی در اتحادیه اروپا در محور مهندسی محصول ارائه می‌شود. در برخی از کتب درسی (Cussler& Moggridge, 2011; Wei, 2007; Ng, Gani & Dam-Johansen, 2006) به موضوع مهندسی محصول پرداخته شده است.

### ۹. نتیجه‌گیری

مهندس شیمی با آموزش‌های جاری، بیشتر توانایی طراحی و اشتغال در واحدهای تولید محصولاتی که به کالا تبدیل شده‌اند، از قبیل صنایع نفت، گاز و پتروشیمی را دارد و درنتیجه، مهندس شیمی به‌سرعت

1- Cussler & Moggridge, 2011
2- Separation Process Principles
3- Seider
4- Product and Process Design principles
5- http://hes.msrt.ir/uploads/T_Education/1524309141_1.pdf
6- Indian Institute of Technology Bombay
7- Vellore Institute of Engineering

www.SID.ir

Archive of SID



جذب بازار کار نمی‌شود. نوآوری با دیدگاه فرایندی در مهندسی شیمی اندک و زمینه رشد آن رو به کاهش است. از طرفی، تنوع محصولات مشتری‌محور بسیار زیاد است و در حال حاضر، تولید کنندگان از کارشناسانی در زمینه شیمی، مواد و حتی صنایع بهره می‌گیرند و بیشتر محصولات ترکیبی با سعی و خطا معین می‌شوند و در این سعی و خطا که وقت و هزینه زیادی را به صنعت تحمیل می‌کند، هدف تولید محصولی مشتری‌محور است. دانشگاه‌های کشورهای صنعتی و در حال توسعه به اهمیت طراحی محصول و بالاتر از آن به اهمیت مهندسی محصول پی برده‌اند، اما در کشور ایران برخلاف خط‌مشی بسیاری از کشورهای توسعه یافته و در حال توسعه از نظر تسلط اقتصاد نفتی در اعتبارات کشوری، موضوع مغفول مانده است. بنابراین، لازم است که به مهندسی محصول نه تنها در سطح کارشناسی، بلکه در سطح تحصیلات تکمیلی هم توجه شود و در ارتباط صنعت و دانشگاه جایگاه مهندس شیمی از نفت و گاز و پتروشیمی که تولید محصولاتی از جنس کالا دارند، به سمت صنایعی که محصولاتی از نوع کسب-مشتری و نوبر تولید می‌کنند و عمدتاً فرایندهای ناپیوسته یا بسته‌ای دارند، هدایت شود. همچنین ارائه درسی در دانشکده‌های مهندسی شیمی کشور به نام «طراحی محصول» با استفاده از کتاب‌ها (Seider, Warren, Lewin, Seader, Widagdo, Gani & Ka Ming, 2016; Cussler & Moggridge, 2011) و تجربه دانشگاه صنعتی امیرکبیر توصیه می‌شود.

## تشکر و قدردانی

بر خود لازم می‌دانم که مراتب تشکر و سپاس خود را از اعضای شاخه مهندسی شیمی فرهنگستان علوم که شرایط ایراد سخنرانی درباره مهندسی محصول را فراهم کردند، به‌ویژه آقایان پروفسور توفیقی، پروفسور گودرزنیا و پروفسور واشقانی فراهانی که با راهنمایی ایشان این مقاله تنظیم شد، اعلام دارم. همچنین از آقایان پروفسور ستوده در دانشگاه تهران و پروفسور بنکدارپور در دانشگاه امیرکبیر که مقالات و سخنرانی‌های ایشان مشوق نویسنده در ارائه این مقاله است، قدردانی می‌شود.

**جدول ۱: سرفصل درس طراحی محصول شیمیایی دانشگاه امیرکبیر**

| |
|---|
| **عنوان درس:** طراحی محصول شیمیایی |
| **تعداد واحد:** ۳ |
| **پیشنیاز (همنیاز):** فرآیندهای جداسازی۱، مهندسی واکنش‌های شیمیایی، (مدل‌سازی ریاضی در مهندسی شیمی) |
| **هدف:** هدف کلی این درس به‌کارگیری مبانی علمی و مهندسی برای طراحی خلاقانه محصولات شیمیایی می‌باشد. همچنین ایده‌پردازی در زمینه تولید محصولات و انتخاب بهترین ایده پیشنهادی که نیاز مورد نظر را تأمین کند. براین اساس از محاسبات مهندسی برای آنالیز کمی خواص محصول و انتخاب فرآیند مناسب تولید استفاده می‌شود. |

www.SID.ir

Archive of SID



**رئوس مطالب:**

۱. مقدمه‌ایی بر طراحی محصولات شیمیایی (اهمیت موضوع طراحی محصول، انواع محصولات شیمیایی، مقایسه طراحی محصول و طراحی فرآیند، روش‌های طراحی محصول و محدودیت‌های آن، اشاره به مراحل طراحی محصول به روش Cussler)

۲. مرحله اول طراحی محصول: نیاز (نیاز به محصول، تبدیل نیاز به خواص و بازبینی خواص محصول)

۳. مرحله دوم طراحی محصول: ایده‌ها (ایده‌های با منشاء انسانی، ایده‌های با منشاء شیمیایی، مرتب‌سازی و غربال‌گری ایده‌ها)

۴. مرحله سوم طراحی محصول: انتخاب (انتخاب یا استفاده از ترمودینامیک، انتخاب یا استفاده از سینتیک و ریسک در انتخاب محصول)

۵. مرحله چهارم طراحی محصول: تولید محصول (آماده‌سازی جهت تولید، فراهم آوردن اطلاعات لازم، بازبینی‌های محیط‌زیست، مشخصه‌های نهایی، افزایش و کاهش مقیاس)

این درس با به‌کارگیری همزمان پاورپوینت و تخته تدریس می‌شود. هم‌چنین روش ارزیابی در این درس به صورت ترکیبی از میان ترم و پروژه است. به دلیل رویکرد "مسئله محور" در این درس پروژه به صورت یک مسئله تعریف شده و دانشجو لازم است که بر پایه‌ی مباحث بحث طراحی محصول را انجام دهد. به‌دلیل ماهیت این درس پیشنهاد می‌شود که پروژه تعریف شده به‌صورت انجام شود.

**توضیحات:** این یک درس جدید می‌باشد.

**جدول۲: سرفصل درس طراحی محصول اقتباس از (Seider et al., 2016)**

| | |
|---|---|
| مقدمه‌ای بر طراحی محصول | Introduction to chemical process design |
| منابع مورد نیاز، ایجاد انگیزه در خلاقیت، محیط زیست، تاب‌آوری[1]،ایمنی، اخلاق مهندسی[2] | Design Literature, Stimulating Innovation, Environment, Sustainability, Safety, Engineering Ethics |
| طراحی مولکولی و مخلوط | Molecule and Mixture Design |
| طراحی دستگاه‌های شیمیایی، محصولات عملگرا، محصولات ترکیبی | Design ofChemical Devices, Functional Products, and Formulated Products |
| حسابداری و تخمین هزینه سرمایه‌گذاری | Cost Accountingand Capital CostEstimation |
| تحلیل هزینه سرانه، درآمدی و سوددهی | Annual Costs, Earnings, andProfitabilityAnalysis |
| راهبرد ۶-زیگما | Six-SigmaDesignStrategies |
| تصمیم‌گیری تجاری برای بهبود محصول | Business DecisionMaking inProductDevelopment |
| طراحی بهینه فرایندهای بسته‌ای[3] | Optimal Designand SchedulingBatch Processes |
| گزارش کتبی و شفاهی | Written Reportsand Oral Presentation |
| مطالعه موردی | Case Study |

## References


- Bird, R. B.; Stewart, W. E., & Lightfoot, E. N. (1960-2007). *Transport phenomena*.1st & 2nded., John Wiley & Sons.
- Costa, R.; Moggridge, G. D., & Saraiva, P. M. (2006). Chemical product engineering: An emerging


1- Sustainability 2- Engineering Ethics 3- Batch Processes

www.SID.ir

Archive of SID



paradigm within chemical engineering. *AIChE Journal*, 52(6), 1976-1986.
- Costa, R.; Elliott, P.; Saraiva, P. M.; Aldridge, D., & Moggridge, G. D. (2008). Development of sustainable solutions for zebra mussel control through chemical product engineering. *Chinese Journal of Chemical Engineering*, 16(3), 435-440.
- Cussler, E. L., & Moggridge, G. D. (2011). *Chemical product design*. Cambridge University Press.
- Danckwerts, P. V. (1966). Science in chemical engineering. Chem. Eng., July/August: CE155-CE159.
- Doherty, M. F., & Malone, M. F. (2001). *Conceptual design of distillation systems*. New York: McGraw-Hill.
- Douglas, J. M. (1988). *Conceptual design of chemical processes (Vol. 1110)*. New York: McGraw-Hill.
- Fung, Ka Y., & Ng, Ka M. (2018). Teaching chemical product design using design projects. *Education for Chemical Engineers*, 24, 13-26.
- Kheradmandinia, S., & Sotudeh Gharebaghi, R. (2018). Complementary skill education for chemical engineers from engineering consultant company's view prospective. *Iranian Journal of Engineering education*, 20(77), 1-1 [in Persian].
- Ng, K. M.; Gani, R., & Dam-Johansen, K. (Eds.). (2006*). Chemical product design: Towards a perspective through case studies (Vol. 23)*. Elsevier.
- Seader, J. D.; Henley, E. J., & Roper, D. K. (1998). *Separation process principles*. John Wiley & Sons, Inc.
- Seider, Warren, D., Lewin, Daniel R., Seader, J. D., Widagdo, S., Gani, R., & Ka Ming, Ng. (2016). *Product and process design synthesis, Analysis, and evaluation*., John Wiley & Sons, Inc.
- Shabani, R. (2013). Necessity of paying attention to product design beside process design in chemical engineer. *Iranian Chemical Engineering Journal,* 12 (68) [in Persian].
- Soltanieh, M. (2018). Carbon capture and storage (CCS) in energy conversion and industrial processes. Power Point of Speech at Chemical Engineering Branch, The Academy of Sciences, Islamic Republic of Iran [in Persian].
- Vasheghani, F. E. (2018). Green engineering. Power Point of Speech at Chemical Engineering Branch, The Academy of Sciences, Islamic Republic of Iran [in Persian].
- Wei, J. (2007). *Product engineering: Molecular structure and properties*. Oxford University Press.

◄ **آقای دکتر رهبر رحیمی:** مدرک دکترای خود را در مهندسی شیمی از دانشگاه باث در کشور انگلستان اخذ کرده‌اند. ایشان از سال ۱۳۵۸ فعالیت خود را به‌عنوان عضو هیئت علمی در دانشگاه سیستان و بلوچستان آغاز کرده و هم اکنون نیز به‌عنوان استاد در دانشکده مهندسی شهید نیکبخت مشغول فعالیت و نیز کارشناس استاندار در رشته صنایع شیمیایی و عضو مدعو فرهنگستان علوم جمهوری اسلامی هستند. ایشان در کنار فعالیت‌های اجرایی و مدیریتی، در زمینه مهندسی فرایند، پدیده‌های انتقال و پیل‌های سوختی مشغول به کار آموزشی و پژوهشی هستند و بیش از ۵۰ مقاله علمی در نشریات بین‌المللی، ملی و کنفرانس دارند و سه کتاب تألیف و سه اختراع ثبت کرده‌اند.

www.SID.ir